

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jalan

Undang-undang Republik Indonesia No.38 Tahun 2004 menyebutkan bahwa jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas. Menurut undang-undang tersebut jalan juga dibagi menjadi tiga yaitu:

- 1) Jalan umum yaitu jalan yang lalu lintas nya diperuntukkan untuk umum.
- 2) Jalan khusus yaitu jalan yang dibuat untuk kepentingan tertentu yang dibuat oleh instansi tertentu, suatu badan usaha, bisa juga perseorangan atau kelompok masyarakat.
- 3) Jalan tol yaitu jalan umum yang penggunaannya diwajibkan untuk membayar tol dan merupakan jalan Nasional.

2.1.1 Klasifikasi dan Fungsi Jalan

Merujuk dari undang-undang RI No.38 Tahun 2004 jaringan jalan dapat diklasifikasikan peran dan wewenang pembinaannya. Seperti Jalan Nasional, Jalan Propinsi, Jalan Kabupaten/Kotamadya dan Jalan Khusus.

Klasifikasi jalan berdasarkan fungsinya yaitu:

- 1) Jalan arteri, yaitu jalan umum yang melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi dan jumlah jalan masuk dibatasi secara berdaya guna.
- 2) Jalan kolektor, yaitu jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk yang dibatasi.
- 3) Jalan lokal, yaitu jalan umum yang melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan dekat, kecepatan rata-rata rendah dan jumlah jalan masuk yang tidak dibatasi.

Jalan arteri merupakan jalan utama, sedangkan jalan kolektor dan lokal adalah jalan minor. Adapun klasifikasi jaringan jalan berdasarkan dimensi dan muatan sumbu diatur oleh PP No.43 Tahun 1993 tentang prasarana dan lalu lintas jalan dengan membaginya dalam beberapa kelas, yaitu :

- 1) Jalan kelas I, yaitu jalan arteri yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dalam ukuran lebar tidak lebih 2,5 meter, ukuran panjang tidak melebihi 18 meter dan muatan sumbu terberat yang diizinkan adalah 10 ton.
- 2) Jalan kelas II, yaitu jalan yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak lebih dari 2,5 meter, ukuran panjang tidak melebihi 18 meter dan muatan sumbu terberat yang diizinkan 10 ton.
- 3) Jalan kelas III A, yaitu jalan arteri atau kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak lebih 2,5 meter, ukuran panjang tidak melebihi 18 meter dan muatan sumbu terberat yang diizinkan adalah 8 ton.
- 4) Jalan kelas IIIB, yaitu jalan kolektor yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak lebih 2,5 meter, ukuran panjang tidak melebihi 12 meter dan muatan sumbu terberat yang diizinkan adalah 8 ton.
- 5) Jalan kelas IIIC, yaitu jalan lokal yang dapat dilalui kendaraan bermotor termasuk muatan dengan ukuran lebar tidak lebih dari 2,1 meter, ukuran panjang tidak melebihi 9 meter dan muatan sumbu terberat yang diizinkan adalah 8 ton.

2.2 Jenis-jenis Perkerasan

Pengertian perkerasan jalan adalah suatu lapisan yang terletak diatas tanah dasar yang telah mendapatkan pemadatan, yang berfungsi untuk memikul beban lalu lintas yang ada diatasnya kemudian menyebarkan beban yang diterimanya untuk diteruskan beban lalu lintas ke tanah dasar (*Subgrade*), sehingga beban pada

tanah dasar tidak melampaui daya dukung tanah yang diizinkan. Lapisan perkerasan suatu jalan terdiri dari satu ataupun beberapa lapis material batuan dan bahan ikat.

Perencanaan perkerasan jalan yang baik apabila konstruksi tersebut dapat memberikan sifat yang kuat, nyaman dan bernilai ekonomis. Selain harus mampu mendukung beban lalu lintas yang diterima, konstruksi perkerasan juga memiliki ketahanan terhadap kondisi lingkungannya.

Berdasarkan bahan penyusun dan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi 4 (Hardiyatmo, 2017):

- 1) Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang umumnya terdiri dari lapis permukaan aspal yang berada di atas lapis pondasi dan lapis pondasi bawah granuler yang dihamparkan di atas tanah dasar.
- 2) Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang bahan pengikatnya menggunakan semen (*portland cement*). Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapisan pondasi bawah. Beban lalu lintas yang diterima sebagian besar dipikul oleh pelat beton tersebut.
- 3) Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur.
- 4) Jalan tak diperkeras (*unpaved road*), merupakan perkerasan sederhana dengan permukaan jalan hanya berupa lapisan kerikil (*granuler*) yang dihamparkan diatas tanah dasar.

2.3 Umur Rencana

Umur rencana perkerasan jalan adalah jumlah tahun dari saat jalan tersebut dibuka untuk lalu lintas kendaraan sampai kondisi perkerasan perlu suatu perbaikan yang bersifat struktural. Umur rencana perkerasan jalan ditentukan dari klasifikasi fungsional jalan, pola lalu lintas dan nilai ekonomis jalan. Untuk umur rencana perkerasan jalan baru dapat direncanakan menggunakan **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Umur rencana perkerasan jalan baru

Jenis Perkerasan	Elemen Perkerasan	Umur Rencana (Tahun)
Perkerasan lentur	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Fondasi jalan	
	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>), seperti: jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, terowongan	40
	<i>Cement Treated Based</i> (CTB)	
Perkerasan kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)

2.4 Lalu Lintas

Dalam menentukan tebal lapisan perkerasan perkerasan yang direncanakan harus sesuai dengan beban yang dipikul oleh perkerasan tersebut. Dalam perencanaan perkerasan lentur parameter yang diperlukan dalam menentukan beban yang diterima perkerasan yaitu menentukan jumlah jalur, koefisien distribusi kendaraan, angka ekivalen beban sumbu kendaraan, lalu lintas harian rata-rata dan lintas ekivalen.

2.4.1 Faktor pertumbuhan lalu lintas

Dalam menentukan faktor pertumbuhan lalu lintas didasarkan dari data-data pertumbuhan (*historical growth data*) atau korelasi dengan faktor pertumbuhan lain yang berlaku. Jika tidak tersedia data maka dapat menggunakan **Tabel 2.2** dengan rentang tahun (2015-2035).

Tabel 2.2 Faktor laju pertumbuhan lalu lintas (*i*)(%)

	Jawa	Sumatera	Kalimantan	Rata-rata Indonesia
Arteri dan Perkotaan	4,80	4,83	5,14	4,75
Kolektor Rural	3,50	3,50	3,50	3,50
Jalan Desa	1,00	1,00	1,00	1,00

(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)

Pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana dihitung dengan persamaan 2.1.

$$R = \frac{(1+0,01 i)^{UR}-1}{0,01 i} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

i = Laju pertumbuhan lalu lintas tahunan (%).

UR = Umur rencana (tahun).

Apabila diperkirakan akan terjadi perbedaan laju pertumbuhan tahunan selama umur rencana (UR), dengan $i_1\%$ selama periode awal (UR1 tahun) dan $i_2\%$ selama sisa periode berikutnya (UR-UR1) dan apabila periode rasio volume kapasitas (RVK) yang belum mencapai tingkat kejenuhan ($RVK \leq 0,85$). Maka dapat menggunakan rumus dengan persamaan 2.2.

$$R = \frac{(1+0,01 i_1)^{UR1}-1}{0,01 i_1} + (1 + 0,01 i_1)^{(UR1-1)}(1 + 0,01 i_2) \left\{ \frac{(1+0,01 i_2)^{(UR-UR1)}-1}{0,01 i_2} \right\} (2.2)$$

Dengan

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

i_1 = Laju pertumbuhan tahunan lalu lintas periode 1 (%).

i_2 = Laju pertumbuhan tahunan lalu lintas periode 2 (%).

UR = Umur rencana (tahun).

UR1 = Umur rencana periode 1 (tahun).

Jika kapasitas lalu lintas diperkirakan tercapai pada tahun ke (Q) dari umur rencana (UR), faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif dihitung sesuai persamaan 2.3.

$$R = \frac{(1+0,01 i)^Q-1}{0,01 i} + (UR - Q)(1 + 0,01 i)^{(Q-1)} \dots\dots\dots (2.3)$$

2.4.2 Lalu lintas pada lajur rencana

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan niaga. Beban lalu lintas pada lajur rencana dinyatakan dalam *Equivalent Standart Axle* (ESA) atau kumulatif beban gandar

standar dengan memperhitungkan faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL).

Untuk jalan dua arah, faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu atau dapat menggunakan data pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Faktor distribusi arah (DD)

Lebar perkerasan (L_p)	Jumlah lajur (n_l)	Koefisien distribusi	
		1 Arah	2 Arah
$L_p < 5,50$ m	1 lajur	1	1
$5,50 \text{ m} \leq L_p < 8,25$ m	2 lajur	0,70	0,50
$8,25 \text{ m} \leq L_p < 11,25$ m	3 lajur	0,50	0,475
$11,25 \text{ m} \leq L_p < 15,00$ m	4 lajur	-	0,45
$15,00 \text{ m} \leq L_p < 18,75$ m	5 lajur	-	0,425
$18,75 \text{ m} \leq L_p < 22,00$ m	6 lajur	-	0,40

(Sumber: Perencanaan perkerasan jalan beton semen, 2003)

Faktor distribusi lajur (DL) digunakan untuk menyesuaikan beban kumulatif beban gandar standar (ESA) pada jalan dengan dua lajur atau lebih dalam satu arah. Faktor distribusi jalan (DL) ditunjukkan pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Faktor distribusi lajur (DL)

Jumlah Lajur Setiap Arah	Kendaraan Niaga pada Lajur Desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)

2.5 Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur (*Flexible Pavement*) menurut Hardiyatmo (2017) terdiri dari beberapa lapis yaitu lapisan permukaan (*surface course*), lapis podasi (*base course*), lapis pondasi bawah (*subbase course*). Tipikal perkerasan lentur dapat dilihat pada **Gambar 2.1**, **Gambar 2.2** dan **Gambar 2.3**.



Gambar 2.1 Perkerasan lentur pada permukaan tanah asli
(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)



Gambar 2.2 Perkerasan lentur pada timbunan
(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)



Gambar 2.3 Perkerasan lentur pada galian
(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)

2.5.1 Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Lapisan yang terletak paling atas. Fungsi utama lapis permukaan perkerasan jalan menurut Saodang (2005) adalah sebagai:

- 1) Lapis perkerasan penahan beban roda, dimana lapisan ini harus mempunyai stabilitas tinggi guna menahan beban selama masa pelayanan.
- 2) Lapis kedap air, agar air hujan yang ada tidak menggenang dan dapat meresap ke lapisan di bawahnya.
- 3) Lapis aus (*wearing course*), bagian lapisan yang mudah aus karena menerima gesekan akibat rem.

2.5.2 Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Terletak diantara *surface course* dan *subbase course*, lapisan ini berfungsi sebagai bagian perkerasan yang mendukung lapis permukaan dan beban-beban roda yang bekerja di atasnya dan menyebarkan tegangan yang terjadi ke lapis pondasi bawah (Saodang, 2005). Lapis pondasi atas memiliki fungsi antara lain:

- 1) Bagian perkerasan yang menahan beban roda untuk meneruskan ke lapisan dibawahnya.
- 2) Lapisan yang mampu memperkuat konstruksi perkerasan, sebagai bantalan terhadap lapis permukaan.
- 3) Meneruskan limpahan gaya lalu lintas ke lapis pondasi bawah.

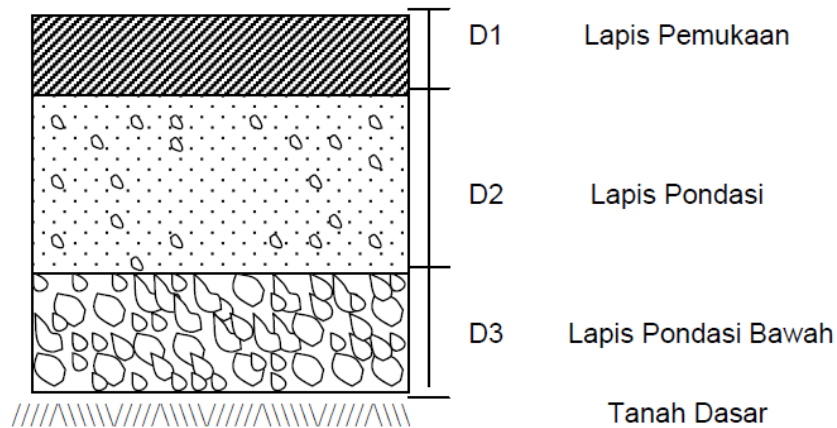
2.5.3 Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Merupakan lapis perkerasan yang terletak di atas lapisan tanah dasar. Lapisan ini berfungsi sebagai bagian perkerasan yang meneruskan beban di atasnya untuk selanjutnya menyebarkan tegangan yang terjadi ke lapis tanah dasar (Saodang, 2005). Lapis pondasi bawah dibuat diatas tanah dasar yang berfungsi sebagai berikut:

- 1) Bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda.
- 2) Penggunaan material pada lapisan ini lebih murah dibanding lapisan perkerasan di atasnya, sehingga bisa dijadikan opsi untuk tebal perkerasan yang baik dan terjangkau.
- 3) Sebagai peresapan untuk mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi

- 4) Agar pekerjaan dapat berjalan lancar maka lapisan ini harus dikerjakan dengan baik karena akan berpengaruh pada lapisan di atasnya.

Susunan lapis perkerasan lentur dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Susunan lapis perkerasan lentur
(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)

2.6 Parameter Perencanaan Perkerasan Lentur

Berikut adalah parameter yang diperlukan dalam mendesain perencanaan tebal perkerasan lentur pada ruas jalan *underpass* Karanglo Malang menggunakan Pedoman Manual Desain Perkerasan Jalan nomor 04/SE/Db/2017 yang diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga yang merupakan revisi dari Manual Desain Perkerasan sebelumnya tahun 2013. Dengan beberapa perubahan seperti umur rencana, pemilihan struktur perkerasan, analisis dan pengumpulan data lalu lintas, desain fondasi dan pertimbangan aspek pelaksanaan.

2.6.1 Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*)

Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas selanjutnya dikonversi menjadi kumulatif beban gandar standar (ESA) dengan menggunakan faktor ekuivalen beban (VDF). Analisis yang dilakukan dalam struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana. Desain yang akurat perlu perhitungan beban lalu lintas yang akurat pula. Studi atau survei beban gandar yang dilakukan dengan baik menjadi dasar perhitungan ESA yang baik. Ketentuan cara pengumpulan data beban lalu lintas ditunjukkan pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Pengumpulan data beban gandar

Spesifikasi Penyediaan Prasarana Jalan	Sumber Data Beban Gandar
Jalan Bebas Hambatan	1 atau 2
Jalan Raya	1 atau 2 atau 3
Jalan Sedang	2 atau 3
Jalan Kecil	2 atau 3

(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)

Berdasarkan pedoman Manual Desain Perkerasan 2017 data dari **Tabel 2.5** diperoleh dari:

1. Jembatan timbang, timbangan statis atau WIM (survei langsung).
2. Survei beban gandar pada jembatan timbang atau WIM yang pernah dilakukan dan dianggap cukup representatif.
3. Data WIM regional yang dikeluarkan oleh Ditjen Bina Marga.

Jika survei beban gandar tidak memungkinkan dilakukan oleh perencana dan data survei beban gandar sebelumnya tidak tersedia, maka nilai VDF dapat menggunakan **Tabel 2.6** dan **Tabel 2.7** untuk menghitung ESA. **Tabel 2.6** menunjukkan nilai VDF regional masing-masing jenis kendaraan niaga yang diolah dari studi WIM yang dilakukan oleh Ditjen Bina Marga pada 2012-2013. Apabila survei lalu lintas yang dilakukan dapat mengidentifikasi jenis dan muatan kendaraan niaga, maka dapat digunakan data VDF masing-masing kendaraan menurut **Tabel 2.7**.

Tabel 2.6 Nilai VDF masing-masing Jenis Kendaraan Niaga

Jenis Kendaraan	Sumatera				Jawa				Kalimantan				Sulawesi				Bali, Nusa Tenggara, Maluku dan Papua			
	Beban		Normal		Beban		Normal		Beban		Normal		Beban		Normal		Beban		Normal	
	Aktual				Aktual				Aktual				Aktual				Aktual			
	VD F 4	VD F 5	VD F 4	VD F 5	VD F 4	VD F 5	VD F 4	VD F 5	VD F 4	VD F 5	VD F 4	VD F 5	VD F 4	VD F 5	VD F 4	VD F 5	VD F 4	VD F 5	VD F 4	VD F 5
5B	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
6A	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5
6B	4,5	7,4	3,4	4,6	5,3	9,2	4,0	5,1	4,8	8,5	3,4	4,7	4,9	9,0	2,9	4,0	3,0	4,0	2,5	3,0
7A1	10,1	18,4	5,4	7,4	8,2	14,4	4,7	6,4	9,9	18,3	4,1	5,3	7,2	11,4	4,9	6,7	-	-	-	-
7A2	10,5	20,0	4,3	5,6	10,2	19,0	4,3	5,6	9,6	17,7	4,2	5,4	9,4	19,1	3,8	4,8	4,9	9,7	3,9	6,0
7B1	-	-	-	-	11,8	18,2	9,4	13,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7B2	-	-	-	-	13,7	21,8	12,6	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7C1	15,9	29,5	7,0	9,6	11,0	19,8	7,4	9,7	11,7	20,4	7,0	10,2	13,2	25,5	6,5	8,8	14,0	11,9	10,2	8,0
7C2A	19,8	39,0	6,1	8,1	17,7	33,0	7,6	10,2	8,2	14,7	4,0	5,2	20,2	42,0	6,6	8,5	-	-	-	-
7C2B	20,7	42,8	6,1	8,0	13,4	24,2	6,5	8,5	-	-	-	-	17,0	28,8	9,3	13,5	-	-	-	-
7C3	24,5	51,7	6,4	8,0	18,1	34,4	6,1	7,7	13,5	22,9	9,8	15,0	28,7	59,6	6,9	8,8	-	-	-	-

(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)

Tabel 2.7 Nilai VDF masing-masing jenis kendaraan niaga

Jenis Kendaraan					Kel. Sumbu	Distribusi Tipikal (%)		Faktor Ekvivalen Beban (VDF) (ESA/Kendaraan)		
	Klasifikasi Lama	Alternatif	Uraian	Konfigurasi Sumbu		Muatan-muatan yang diangkut	Semua Kendaraan Bermotor	Semua Kendaraan Bermotor Kecuali Sepeda Motor	VDF 4	VDF 5
K E N D A R A A N N I A G A	1	1	Sepeda motor	1.1		2	30,4			
	2, 3, 4	2, 3, 4	Sedan/Angkot/Pickup/Station wagon	1.1		2	51,7	74,3		
	5a	5a	Bus kecil	1.2		2	3,5	5,00	0,3	0,2
	5b	5b	Bus besar	1.2		2	0,1	0,20	1,0	1,0
	6a.1	6.1	Truk 2 sumbu-cargo ringan	1.1	Muatan umum	2			0,3	0,2
	6a.2	6.2	Truk 2 sumbu-ringan	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2	4,6	6,60	0,8	0,8
	6b1.1	7.1	Truk 2 sumbu-cargo sedang	1.2	Muatan umum	2			0,7	0,7
	6b1.2	7.2	Truk 2 sumbu-sedang	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2	-	-	1,6	1,7
	6b2.1	8.1	Truk 2 sumbu-berat	1.2	Muatan umum	2			0,9	0,8
	6b2.2	8.2	Truk 2 sumbu-berat	1.2	Tanah, pasir, besi, semen	2	3,8	5,50	7,3	11,2
	7a1	9.1	Truk 3 sumbu-ringan	1.22	Muatan umum	3			7,6	11,2
	7a2	9.2	Truk 3 sumbu-sedang	1.22	Tanah, pasir, besi, semen	3	3,9	5,60	28,1	64,4
	7a3	9.3	Truk 3 sumbu-berat	1.1.2		3	0,1	0,10	28,9	62,2
	7b	10	Truk 2 sumbu dan trailer penarik 2 sumbu	1.2-2.2		4	0,5	0,70	36,9	90,4
	7c1	11	Truk 4 sumbu-trailer	1.2-22		4	0,3	0,50	13,6	24,0
	7c2.1	12	Truk 5 sumbu-trailer	1.2-22		5			19,0	33,2
	7c2.2	13	Truk 5 sumbu-trailer	1.2-222		5	0,7	1,00	30,3	69,7
	7c3	14	Truk 6 sumbu-trailer	1.22-222		6	0,3	0,50	41,6	93,7

(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)

2.6.2 Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESAL)

CESAL atau beban sumbu standar kumulatif adalah jumlah beban sumbu lalu lintas desain pada lajur desain selama umur rencana dan sesuai dengan VDF masing-masing kendaraan niaga yang ditentukan pada persamaan 2.4.

$$ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan

ESA_{TH-1} = Kumulatif lintasan sumbu standar ekivalen (*equivalent standard axle*) pada tahun pertama.

LHR_{JK} = Lintas harian rata-rata tiap jenis kendaraan niaga (satuan kendaraan per hari).

VDF_{JK} = Faktor ekivalen beban (*Vehicle Damage Factor*) tiap jenis kendaraan niaga sesuai **Tabel 2.6** dan **Tabel 2.7**.

DD = Faktor distribusi arah (**Tabel 2.3**).

DL = Faktor distribusi lajur (**Tabel 2.4**).

$CESAL$ = Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana.

R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif sesuai persamaan 2.1 atau persamaan 2.2.

2.6.3 Daya Dukung Tanah Dasar (DDT)

Daya dukung tanah / kekuatan tanah dasar (*subgrade*) adalah lapisan tanah dasar paling atas yang memiliki kemampuan tanah untuk menerima beban yang bekerja padanya. Untuk mendapatkan nilai daya dukung tanah dapat ditentukan dengan beberapa macam pengujian seperti uji CBR laboratorium (*California Bearing Ratio*), M_r (*Resilient Modulus*), DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*). Dimana tujuan dari uji tersebut adalah untuk mengetahui daya dukung tanah yang dinyatakan dalam nilai CBR dengan satuan (%). Untuk pengujian tanah dasar dengan pengujian DCP harus disesuaikan dengan kondisi musim yang ada. Karena akurasi nilai DCP pada musim kemarau adalah rendah, sehingga untuk mengurangi

ketidakpastian nilai DCP akibat pengaruh musim kemarau digunakan faktor penyesuaian yang ditunjukkan pada **Tabel 2.8**.

Tabel 2.8 Faktor penyesuaian modulus tanah dasar terhadap kondisi musim

Musim	Faktor Penyesuaian Minimum Nilai CBR
	Berdasarkan Pengujian DCP
Hujan dan Tanah Jenuh	0.90
Masa Transisi	0.80
Musim Kemarau	0.70

(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)

Sehingga nilai CBR desain dapat ditentukan dengan persamaan 2.5.

$$\text{CBR desain} = (\text{CBR hasil pengujian DCP}) \times \text{faktor penyesuaian musim} \quad (2.5)$$

Pemilihan tebal minimum lapis penopang untuk mencapai CBR desain ditunjukkan pada **Tabel 2.9** dengan memperhatikan ketentuan mengenai elevasi permukaan fondasi sesuai persyaratan pada **Tabel 2.10**.

Tabel 2.9 Desain fondasi jalan minimum

CBR Tanah Dasar (%)	Kelas Kekuatan Tanah Dasar	Uraian Struktur Fondasi	Perkerasan Lentur			Perkerasan Kaku
			Beban Lalu Lintas pada Lajur			
			Rencana dengan Umur Rencana			
			40 Tahun (juta ESA5)			
			< 2	2 - 4	>4	
			Tebal Minimum Perbaikan Tanah Dasar			Stabilisasi Semen
≥6	SG6	Perbaikan Tanah Dasar dapat Berupa	Tidak Perlu Perbaikan			
5	SG5	Stabilisasi Semen atau Material Timbuan	-	-	100	
4	SG4	Pilihan (Sesuai Persyaratam Spesifikasi	100	150	200	
3	SG3	Umum, Deviasi 3-Pekerjaan Tanah)	150	200	300	
2,5	SG2.5	(Pemadatan Lapisan ≤ 200 mm Tebal	175	250	350	
Tanah Ekspansif (Potensi Pemuaiian > 5%)		Gembur)	400	500	600	300
Perkerasan di atas tanah lunak	SG1	Lapis Penopang	1000	1100	1200	
		Lapis Penopang dan Geogrid	650	750	850	
Tanah Gambut dengan HRS atau DBST untuk perkerasan untuk jalan raya minor (nilai minimum-ketentuanlain berlaku)		Lapis Penopang Berbutir	1000	1250	1500	

(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)

Untuk tinggi minimum permukaan tanah dasar di atas muka air tanah dan level muka air banjir ditunjukkan pada **Tabel 2.10**.

Tabel 2.10 Tinggi minimum tanah dasar di atas muka air tanah dan muka air banjir

Kelas Jalan	Tinggi Tanah Dasar diatas Muka Air Tanah (mm)	Tinggi Tanah Dasar diatas Muka Air Banjir (mm)
Jalan Bebas Hambatan	1200 (jika ada drainase bawah permukaan di median)	500 (banjir 50 tahunan)
	1700 (tanpa drainase bawah permukaan di median)	
Jalan Raya	1200 (tnah lunak jenuh atau gambut tanpa lapis drainase)	
	800 (tanah lunak jenuh atau gambut tapa lapis drainase)	
	600 (tanah dasar normal)	
Jalan Sedang	600	500 (banjir 10 tahunan)
Jalan Kecil	400	NA

(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)

2.6.4 Desain Tebal Perkerasan Lentur

Dalam MDP 2017 terdapat beberapa macam desain tebal lapisan perkerasan lentur sesuai dengan ESA yang ada. Masing-masing desain perkerasan ditampilkan pada Tabel-tabel berikut.

Tabel 2.11 Desain perkerasan lentur opsi biaya minimum dengan CTB

	F1	F2	F3	F4	F5
Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA5 lihat Tabel 2.12 , Tabel 2.13 dan Tabel 2.14					
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10 ⁶ ESA ₅)	>10 - 30	>30 – 50	>50 – 100	>100 – 200	>200 - 500
Jenis permukaan berpengikat	AC	AC			
Jenis lapis pondasi	Cement Treated Base (CTB)				
AC WC	40	40	40	50	50
AC BC	60	60	60	60	60
AC BC atau AC Base	75	100	125	160	220
CTB	150	150	150	150	150
Fondasi agregat Kelas A	150	150	150	150	150

(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)

Tabel 2.12 Desain perkerasan lentur dengan HRS

Kumulatif beban sumbu 20 tahun pada lajur rencana (10^6 ESA ₅)	FF1 < 0.5	$0.5 \leq FF2 \leq 4.0$
Jenis permukaan Struktur perkerasan	HRS atau penetrasi makadam Tebal Lapisan (mm)	HRS
HRS WC	50	30
HRS Base	-	35
LFA kelas A	150	250
LFA kelas A atau LFA kelas B atau kerikil alam atau lapis distabilisasi dengan CBR>10%	150	125

(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)

Tabel 2.13 Desain perkerasan lentur – aspal dengan lapis fondasi berbutir

Solusi yang dipilih	Struktur perkerasan								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10^6 ESA ₅)	>2	$\geq 2 - 4$	>4 - 7	>7 - 10	>10 - 20	>20 - 30	>30 - 50	>50 - 100	>100 - 200
Ketebalan lapis perkerasan (mm)									
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	60	60	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	0	70	80	105	145	160	180	210	245
LPA kelas A	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Catatan	1			2			3		

(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)

Catatan:

1. Nilai FFF1 atau FFF2 harus lebih diutamakan daripada solusi FF1 dan FF2 (**Tabel 2.12**) atau HRS berpotensi mengalami *rutting*.
2. Perkerasan dengan CTB (**Tabel 2.11**) lebih efektif dalam biaya tapi tidak praktis jika sumber daya yang dibutuhkan tidak tersedia
3. Untuk perkerasan lentur dengan beba > 10 juta CESA5, diutamakan menggunakan desain **Tabel 2.11**. Desain **Tabel 2.12** digunakan jika CTB sulit untuk diimplementasikan. Solusi FFF5 - FFF9 dapat lebih praktis daripada desain **Tabel 2.11**.

Tabel 2.14 Penyesuaian tebal lapis fondasi agregat A untuk tanah dasar $\text{CBR} \geq 7\%$ (hanya untuk desain **Tabel 2.13**)

	Struktur perkerasan								
	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10^6 ESA ₅)	>2	>2 - 4	>4 - 7	>7 - 10	>10 - 20	>20 - 30	>30 - 50	>50 - 100	>100 - 200
	Tebal LFA A (mm) penyesuaian terhadap desain Tabel 2.13								
Subgrade $\text{CBR} \geq 5.5-7$	400	300	300	300	300	300	300	300	300
Subgrade $\text{CBR} > 7 - 10$	330	220	215	210	205	200	200	200	200
Subgrade $\text{CBR} \geq 10$	260	150	150	150	150	150	150	150	150
Subgrade $\text{CBR} \geq 15$	200	150	150	150	150	150	150	150	150

(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)

2.7 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan yang terdiri dari pelat beton semen yang terletak langsung diatas tanah dasar, atau diatas lapisan material granuler (*subbase*) yang berada di atas tanah dasar (Hardiyatmo, 2017). Sedangkan lapis pondasi bawah (*subbase*) berfungsi sebagai konstruksi pendukung atau pelengkap. Tipikal perkerasan kaku dapat dilihat pada **Gambar 2.5**, **Gambar 2.6** dan **Gambar 2.7**.



Gambar 2.5 Perkerasan kaku pada permukaan tanah asli
(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)



Gambar 2.6 Perkerasan kaku pada timbunan
(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)



Gambar 2.7 Perkerasan kaku pada galian
(Sumber: Manual desain perkerasan, 2017)

Perkerasan beton yang kaku akan mendistribusikan beban ke tanah dasar sehingga bagian terbesar dari kapasitas struktur perkerasan diperoleh dari pelat

beton itu sendiri. Adanya beragam kekuatan dari tanah dasar dan pondasi bawah hanya berpengaruh kecil terhadap kapasitas struktural perkerasannya.

2.8 Parameter Perencanaan Perkerasan Kaku

Berikut adalah parameter yang diperlukan dalam mendesain perencanaan tebal perkerasan kaku pada ruas jalan *underpass* Karanglo Malang merujuk pada Manual Desai Perkerasan Jalan nomor 04/SE/Db/2017 yang diterbitkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. Metode ini tetap mengacu pada Pd T-14-2003 yang diterbitkan oleh Departemen Pekerjaan Umum di dalam Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen.

2.8.1 Tanah Dasar (*Subgrade*)

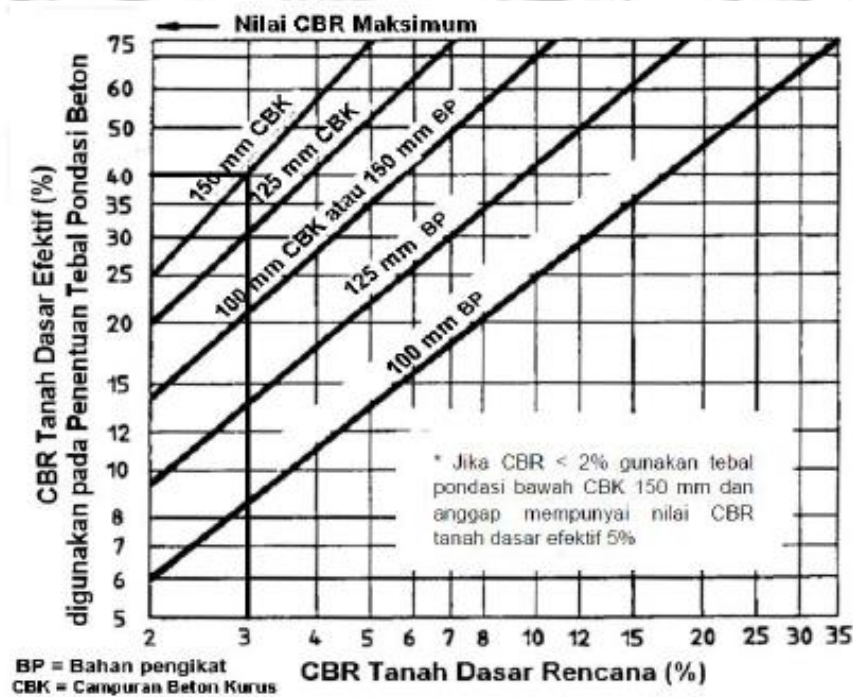
Tanah dasar adalah bagian dari permukaan jalan yang dipersiapkan untuk menerima konstruksi perkerasan. Tanah dasar ini merupakan lapisan yang menerima beban lalu lintas untuk selanjutnya diteruskan atau disebarkan oleh konstruksi perkerasan. Daya dukung tanah dasar ditentukan dengan pengujian CBR insitu atau CBR laboratorium, masing-masing untuk perencanaan tebal perkerasan lama dan perkerasan jalan baru.

2.8.2 Lapis Pondasi (*Subbase*)

Lapis pondasi ini terletak di antara tanah dasar dan pelat beton semen. Fungsi utama dari lapisan ini adalah sebagai lantai kerja yang rata. Apabila *subbase* tidak rata, maka pelat beton juga tidak rata. Tebal lapis pondasi bawah minimum yang disarankan dapat dilihat pada **Gambar 2.8** dan CBR tanah dasar efektif didapat dari **Gambar 2.9**.



Gambar 2.8 Tebal podasi bawah minimum
(Sumber: Perencanaan perkerasan jalan beton semen, 2003)

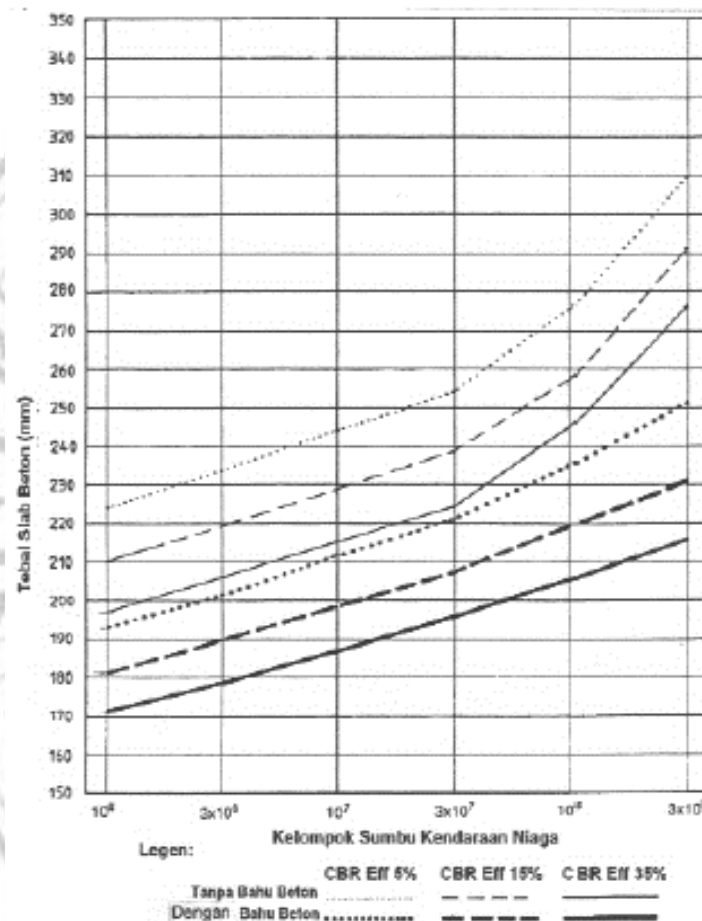


Gambar 2.9 CBR tanah dasar efektif
(Sumber: Perencanaan perkerasan jalan beton semen, 2003)

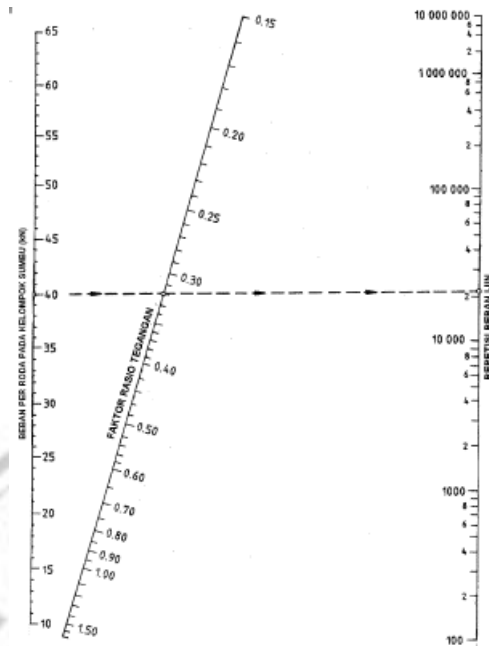
2.8.3 Perencanaan Tebal Pelat

Tebal perencanaan pelat dihitung dari total fatik serta kerusakan erosi dihitung berdasarkan komposisi lalu lintas selama umur rencana. Tebal rencana merupakan tebal taksiran yang paling kecil dan mempunyai total fatik dan total

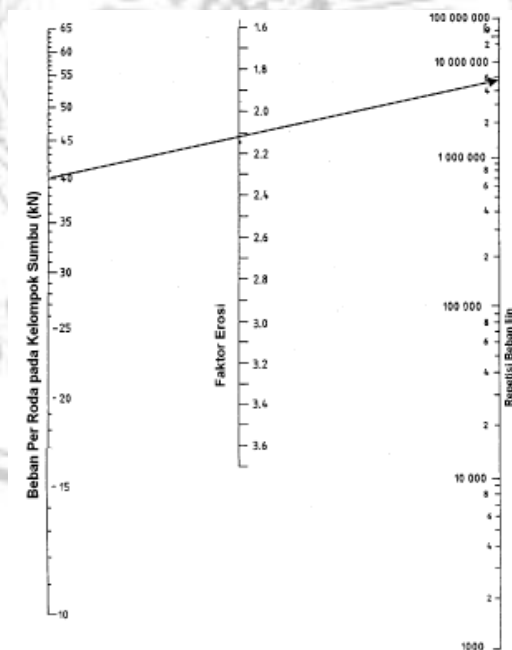
kerusakan erosi lebih kecil dari 100%, dalam menentukan tebal taksiran menggunakan **Gambar 2.10**. Penentuan analisa fatik dan analisa erosi sesuai pada **Gambar 2.11** dan **Gambar 2.12**. Grafik yang digunakan harus sesuai dengan keadaan lapangan, data perencanaan dan juga memperhatikan nilai f_{cf} dan FKB. Penggunaan grafik tebal taksiran pelat beton lebih lengkap pada Lampiran B Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen (Pd T-14-2003).



Gambar 2.10 Tebal taksiran pelat beton, $f_{cf} = 4,25$ Mpa, lalu lintas luar kota, dengan ruji, FKB = 1,2
(Sumber: Perencanaan perkerasan jalan beton semen, 2003)



Gambar 2.11 Analisa fatik dan repetisi beban ijin, berdasarkan rasio tegangan, dengan/tanpa bahu beton
(Sumber: Perencanaan perkerasan jalan beton semen, 2003)



Gambar 2.12 Analisa erosi dan jumlah repetisi beban ijin, berdasarkan faktor erosi, dengan bahu beton

Gambar 2.12 Analisa erosi dan jumlah repetisi beban ijin, berdasarkan faktor erosi, dengan bahu beton
(Sumber: Perencanaan perkerasan jalan beton semen, 2003)

2.8.4 Beton Semen

Kekuatan beton harus dinyatakan dalam nilai kuat tarik lentur (flexural strenght) umur 28 hari, yang didapat dari hasil pengujian balok dengan pembebanan tiga titik (ASTM C-78) yang besarnya secara tipikal sekitar 3-5 MPa (30-50 kg/cm²).

Kuat tarik lentur beton yang diperkuat dengan bahan serat penguat seperti serat baja, aramit atau serat karbon harus mencapai kuat tarik lentur 5–5,5 MPa (50-55 kg/cm²). Kekuatan rencana harus dinyatakan dengan kuat tarik lentur karakteristik yang dibulatkan hingga 0,25 MPa (2,5 kg/cm²) terdekat. Hubungan antara kuat tekan karakteristik dengan kuat tarik-lentur beton dapat didekati dengan persamaan 2.8 dan 2.9 (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003):

$$f_{cf} = K (f_c')^{0,50} \text{ dalam Mpa atau } \dots\dots\dots (2.8)$$

$$f_{cf} = 3,13 K (f_c')^{0,50} \text{ dalam kg/cm}^2 \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan pengertian:

f_c' = kuat tekan beton karakteristik 28 hari (kg/cm²)

f_{cf} = kuat tarik lentur beton 28 hri (kg/cm²)

K = konstanta 0,7 untuk agregat tidak dipecah dan 0,75 agregat pecah

Kuat tarik lentur dapat juga ditentukan dari hasil uji kuat tarik belah beton yang dilakukan menurut SNI 03-2491-1991 sesuai persamaan 2.10 dan 2.11:

$$f_{cf} = 1,37.f_{cs}, \text{ dalam Mpa atau } \dots\dots\dots (2.10)$$

$$f_{cf} = 13,44.f_{cs}, \text{ dalam kg/cm}^2 \dots\dots\dots (2.11)$$

Dengan pengertian:

f_{cs} = kuat tarik belah beton 28 hari

2.8.5 Lalu lintas

Menurut Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003) dalam penentuan beban lalu-lintas rencana untuk perkerasan beton semen, dinyatakan dalam jumlah sumbu kendaraan niaga (*commercial vehicle*), sesuai dengan konfigurasi sumbu pada lajur rencana selama umur rencana. Lalu lintas harus dianalisis berdasarkan hasil perhitungan volume lalu lintas dan konfigurasi sumbu menggunakan data terakhir atau 2 tahun terakhir. Setiap jenis kendaraan memiliki

konfigurasi sumbu yang berbeda-beda. Untuk sumbu depan merupakan sumbu tunggal roda tunggal, sedangkan sumbu belakang bisa berupa sumbu tunggal atau sumbu ganda. Kendaraan yang ditinjau untuk perencanaan perkerasan beton semen adalah yang mempunyai berat total minimum 5 ton.

2.8.5.1 Lalu lintas rencana

Lalu-lintas rencana adalah jumlah kumulatif sumbu kendaraan niaga pada lajur yang direncanakan selama umur rencana, meliputi proporsi sumbu serta distribusi beban pada setiap jenis sumbu kendaraan. Beban pada suatu jenis sumbu secara tipikal dikelompokkan dalam interval 10 kN (1 ton) bila diambil dari survei beban. Jumlah sumbu kendaraan niaga selama umur rencana dihitung dengan rumus berikut:

$$JSKN = JSKNH \times 365 \times R \times DD \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan pengertian:

JSKN : Jumlah total sumbu kendaraan niaga selama umur rencana.

JSKNH : Jumlah total sumbu kendaraan niaga per hari pada saat jalan dibuka.

R : Faktor pertumbuhan komulatif dari persamaan (2.1) atau persamaan (2.2), yang besarnya tergantung dari pertumbuhan lalu-lintas tahunan dan umur rencana

DD : Koefisien distribusi arah pada **Tabel 2.3**

2.8.5.2 Faktor keamanan beban

Dalam penentuan beban rencana, beban sumbu kendaraan dikalikan dengan faktor keamanan beban (FKB). Faktor keamanan beban yang digunakan berkaitan adanya berbagai tingkat realibilitas perencanaan seperti terlihat pada **Tabel 2.15**.

Tabel 2.15 Faktor keamanan beban (F_{KB})

No	Penggunaan	Nilai F_{KB}
1	Jalan bebas hambatan utama (<i>major freeway</i>) dan jalan berlajur banyak, yang aliran lalu lintasnya tidak terhambat serta volume kendaraan niaga yang tinggi. Bila menggunakan data lalu-lintas dari hasil survai beban (<i>weight-in-motion</i>) dan adanya kemungkinan route alternatif, maka nilai faktor keamanan beban dapat dikurangi menjadi 1,15.	1,2
2	Jalan bebas hambatan (<i>freeway</i>) dan jalan arteri dengan volume kendaraan niaga menengah.	1,1
3	Jalan dengan volume kendaraan niaga rendah.	1,0

(Sumber: Perencanaan perkerasan jalan beton semen, 2003)

2.8.6 Perencanaan Tulangan

Tujuan utama dalam perencanaan penulangan untuk:

1. Membatasi lebar retakan pada beton, agar kekuatan pelat tetap dapat dipertahankan dan memberi hasil yang maksimal.
2. Memungkinkan penggunaan pelat yang lebih panjang, dengan tujuan untuk mengurangi jumlah sambungan melintang sehingga dapat meningkatkan kenyamanan dalam berkendara.
3. Mengurangi biaya pemeliharaan.

Jumlah tulangan yang diperlukan dipengaruhi oleh jarak sambungan susut, sedangkan dalam hal beton bertulang menerus, diperlukan jumlah tulangan yang cukup untuk mengurangi sambungan susut.

2.8.6.1 Perkerasan Beton Semen Bersambung Tanpa Tulangan

Pada perkerasan beton semen bersambung tanpa tulangan, ada kemungkinan penulangan perlu dipasang guna mengendalikan retak. Bagian-bagian pelat yang diperkirakan akan mengalami retak ini akibat konsentrasi tegangan yang tidak dapat dihindari dengan pengaturan pola sambungan, maka pelat harus diberi tulangan. Penerapan tulangan umumnya dilaksanakan pada:

1. Pelat dengan bentuk tak lazim (*odd-shaped slabs*), disebut bentuk tidak lazim apabila perbandingan antara panjang dengan lebar lebih besar dari

- 1,25 atau bila pola sambungan pada pelat tidak benar-benar berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang.
2. Pelat yang menggunakan sambungan tidak sejalur (*mismatched joints*).
3. Pelat yang berlubang (*pits or structures*).

2.8.6.2 Perkerasan Beton Semen Bersambung Dengan Tulangan

Perkerasan beton semen bersambung dengan tulangan adalah perkerasan beton semen yang menggunakan tulangan pada sambungan memanjang maupun melintang jalan.

Menurut Departement Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003), luas penampang tulangan dapat dihitung dengan persamaan 2.13 berikut:

$$A_s = \frac{\mu \cdot L \cdot M \cdot g \cdot h}{2 \cdot f_s} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

- A_s : Luas penampang tulangan baja (mm²/m lebar pelat)
 f_s : Kuat tarik ijin tulangan (MPa). Biasanya 0,6 kali tegangan leleh
 g : Gravitasi (m/detik²)
 h : Tebal pelat beton (m)
 L : Jarak antara sambungan yang tidak diikat dan/atau tepi bebas pelat (m)
 M : Berat per satuan volume elat (kg/m³)
 μ : Koefisien gesek antara pelat beton dan pondasi bawah

Jika pada tulangan memanjang dan tulangan melintang menggunakan tulangan berbentuk anyaman, maka luas penampang tulangan memanjang dan tulangan melintang yang berbentuk empat persegi panjang dengan bujur sangkar beserta berat per satuan luas ditunjukkan pada **Tabel 2.16**.

Tabel 2.16 Ukuran dan berat tulangan polos anyaman las

Tulangan Memanjang		Tulangan Melintang		Luas Penampang Tulangan		Berat per Satuan Luas (kg/m ²)
Diameter (mm)	Jarak (mm)	Diameter (mm)	Jarak (mm)	Memanjang (mm ² /m)	Melintang (mm ² /m)	
Empat Persegi Panjang						
12,5	100	8	200	1227	251	11,606
11,2	100	8	200	986	251	9,707
10	100	8	200	785	251	8,138
9	100	8	200	636	251	6,967
8	100	8	200	503	251	5,919
7,1	100	8	200	396	251	5,091
9	200	8	250	318	201	4,076
8	200	8	250	251	201	3,552
Bujur Sangkar						
8	100	8	100	503	503	7,892
10	200	10	200	393	393	6,165
9	200	9	200	318	318	4,994
8	200	8	200	251	251	3,946
7,1	200	7,1	200	198	198	3,108
6,3	200	6,3	200	156	158	2,447
5	200	5	200	98	98	1,542
4	200	4	200	63	63	0,987

(Sumber: Perencanaan perkerasan jalan beton semen, 2003)

2.8.6.3 Perkerasan Beton Semen Menerus Dengan Tulangan

Tulangan memanjang yang dibutuhkan pada perkerasan beton semen bertulang menerus dengan tulangan dihitung dari persamaan 2.14 berikut:

$$P_s = \frac{100 \cdot f_{ct} \cdot (1,3 - 0,2\mu)}{f_y - n f_{ct}} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana:

P_s : Persentase luas tulangan memanjang yang dibutuhkan terhadap luas penampang beton (%)

f_{ct} : Kuat tarik langsung beton = (0,4 – 0,5 f_{cf}) (kg/cm²)

f_y : Tegangan leleh rencana baja (kg/cm²)

n : angka ekuivalensi antara baja dan beton dapat dilihat pada **Tabel 2.17**.

μ : koefisien gesekan antara pelat beton dengan lapisan di bawahnya

E_s : modulus elastisitas baja = 2,1 x 10⁶ (kg/cm²)

E_c : modulus elastisitas beton = 1485 $\sqrt{f'_c}$ (kg/cm²)

Tabel 2.17 Hubungan kuat tekan beton dan angka ekivalen baja dan beton (n)

$f'c$ (kg/cm ²)	n
175 – 225	10
235 – 285	8
290 – ke atas	6

(Sumber: Perencanaan perkerasan jalan beton semen, 2003)

Persentase minimum dari tulangan memanjang pada perkerasan beton menerus adalah 0.6% luas penampang beton. Jumlah optimum tulangan memanjang perlu dipasang agar jarak dan lebar retakan dapat dikendalikan. Menurut Departement Permukiman dan Prasarana Wilayah (2003), secara teoritis jarak antara retakan pada perkerasan beton menerus dengan tulangan dihitung dari persamaan berikut :

$$L_{cr} = \frac{f_{ct}^2}{n \cdot p^2 \cdot u \cdot f_b (\epsilon_s E_c - f_{ct})} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

- L_{cr} : Jarak teoritis antara retakan (cm)
 p : Perbandingan luas tulangan memanjang dengan luas penampang beton
 u : Perbandingan keliling terhadap luas tulangan = $4/d$
 f_b : Tegangan lekat antara tulangan dengan beton = $(1,97\sqrt{f'c})/d$ (kg/cm²)
 ϵ_s : Koefisien susut beton = (400.10^{-6}) .
 f_{ct} : Kuat tarik langsung beton = $(0,4 - 0,5 f_{cf})$ (kg/cm²)
 n : Angka ekivalensi antara baja dan beton = (E_s/E_c)
 E_c : Modulus Elastisitas beton = $14850\sqrt{f'c}$ (kg/cm²)
 E_s : Modulus Elastisitas baja = $2,1 \times 10^6$ (kg/cm²)

Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk menjamin didapatnya retakan-retakan yang halus dan jarak antara retakan yang optimum anatara lain:

1. Persentase tulangan yang digunakan dan perbandingan antara keliling dan luas tulangan harus besar.
2. Perlu menggunakan tulangan ulir (*deformed bars*) untuk memperoleh tegangan lekat yang lebih tinggi.

Jarak retakan teoritis yang dihitung dengan persamaan di atas harus memberikan hasil antara 150 dan 250 cm. Jarak antar tulangan 100 mm - 225 mm. Diameter batang tulangan memanjang berkisar antara 12 mm dan 20 mm.

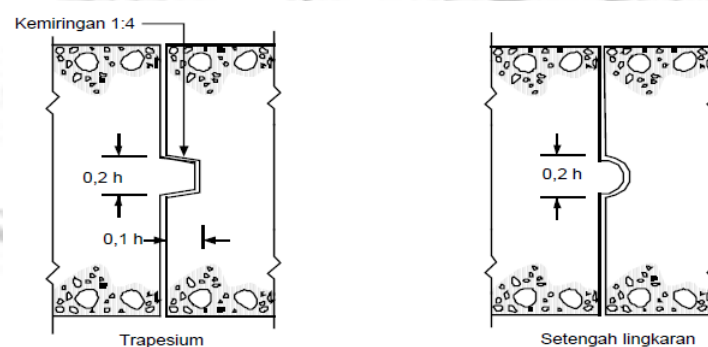
2.8.7 Sambungan

Fungsi dari Sambungan pada perkerasan beton semen ditujukan untuk:

1. Membatasi tegangan dan pengendalian retak yang terjadi dan disebabkan oleh penyusutan karena pengaruh lenting serta beban lalu-lintas.
2. Memudahkan dalam pelaksanaannya.
3. Mengakomodasi gerakan pelat.

Jenis sambungan pada perkerasan beton ada beberapa macam antara lain:

1. Sambungan memanjang dengan batang pengikat (*tie bars*).
Pemasangan sambungan ini ditujukan untuk mengendalikan terjadinya retak memanjang.
2. Sambungan pelaksanaan memanjang.
Sambungan ini umumnya dilakukan dengan cara penguncian sehingga bentuk dan ukuran penguncian dapat berbentuk trapesium atau setengah lingkaran seperti pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13 Ukuran standar penguncian sambungan memanjang
(Sumber: Perencanaan perkerasan jalan beton semen, 2003)

3. Sambungan susut memanjang.

Sambungan susut memanjang dapat dilakukan dengan menggergaji atau dibentuk pada saat beton masih plastis dengan kedalaman sepertiga dari tebal pelat.

4. Sambungan susut dan sambungan pelaksanaan melintang.

Ujung sambungan ini harus tegak lurus terhadap sumbu memanjang jalan dan tepi perkerasannya.

5. Sambungan susut melintang.

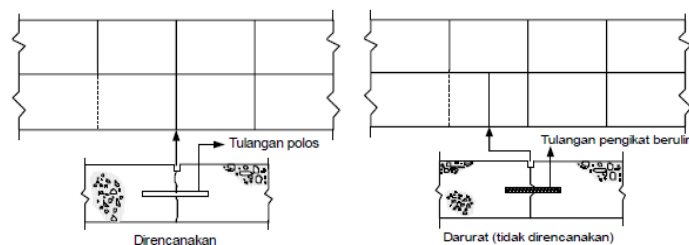
Sambungan ini harus dilengkapi dengan ruji polos panjang 45 cm, jarak antar ruji 30 cm dengan keadaan lurus dan bebas dari tonjolan tajam yang akan berpengaruh pada gerakan bebas pada saat pelat beton menyusut seperti pada **Gambar 2.14**.



Gambar 2.14 Sambungan susut melintang dengan ruji
(Sumber: Perencanaan perkerasan jalan beton semen, 2003)

6. Sambungan pelaksanaan melintang.

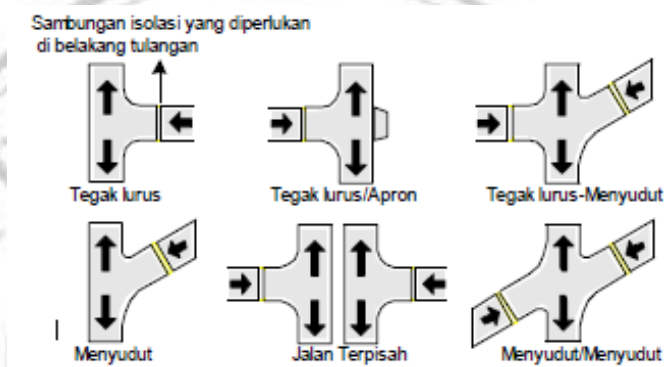
Sambungan pelaksanaan melintang yang tidak direncanakan (darurat) harus menggunakan batang pengikat berulir, sedangkan untuk sambungan yang direncanakan harus memakai batang tulangan polos yang diletakkan di tengah tebal pelat seperti pada **Gambar 2.15**.



Gambar 2.15 Sambungan pelaksanaan yang direncanakan dan yang tidak direncanakan untuk pengecoran per lajur
(Sumber: Perencanaan perkerasan jalan beton semen, 2003)

7. Sambungan isolasi.

Sambungan isolasi harus dilengkapi dengan bahan penutup (*joint sealer*) setebal 5 - 7 mm dan sisanya diisi dengan bahan pengisi (*joint filler*) karena merupakan sambungan pemisah antara perkerasan dan bangunan lain misalnya jembatan, tiang listrik, jalan lama, persimpangan dan lain sebagainya. Contoh persimpangan yang membutuhkan sambungan isolasi dapat dilihat pada **Gambar 2.16**.



Gambar 2.16 Contoh persimpangan yang membutuhkan sambungan isolasi

(Sumber: Perencanaan perkerasan jalan beton semen, 2003)

Dalam pedoman Pd-T-14-2003 semua sambungan harus ditutup dengan bahan penutup (*joint sealer*), kecuali pada sambungan isolasi karena sambungan isolasi merupakan sambungan yang memisahkan perkerasan dengan bangunan lain sehingga terlebih dahulu harus diberi bahan pengisi (*joint filler*)

2.8.8 Ruji (*Dowel*)

Ruji berupa batang baja tulangan polos maupun profil, yang dipasang sebagai sistem penyalur beban, sehingga pelat yang berdampingan dapat bekerja sama tanpa terjadi perbedaan penurunan yang berarti juga sebagai sarana penyambung atau pengikat pada beberapa jenis sambungan pelat beton perkerasan jalan. Dowel berfungsi sebagai penyalur beban pada sambungan yang dipasang dengan separuh panjang terikat dan setengah panjang ruji dilumasi atau dicat untuk menjamin tidak ada ikatan dengan beton. Diameter ruji tergantung pada tebal pelat beton yang direncanakan sebagaimana terlihat pada **Tabel 2.18**.

Tabel 2.18 Diameter ruji

No	Tebal pelat beton, h(mm)	Diameter ruji (mm)
1	$125 < h \leq 140$	20
2	$140 < h \leq 160$	24
3	$160 < h \leq 190$	28
4	$190 < h \leq 220$	33
5	$220 < h \leq 250$	36

- Jarak dowel 300 mm
- Panjang dowel 450 mm

(Sumber: Hardiyatmo, 2017)

2.9 Rencana Anggaran Biaya

Dalam merencanakan sebuah konstruksi tentu memerlukan perkiraan biaya untuk mengetahui berapa besar biaya yang diperlukan untuk membangun suatu proyek konstruksi. Tanpa adanya rencana anggaran biaya (RAB) sangat mungkin terjadinya pembengkakan biaya karena pembelian bahan yang tidak sesuai dengan volume yang ada di lapangan, upah pekerja yang tidak terkontrol dengan baik, pengadaan alat yang boros, dan berbagai dampak lainnya. Sehingga peran rencana anggaran biaya (RAB) sangat penting dalam sebuah proyek.

2.9.1 Pengertian Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) menurut Syawaladi adalah:

1. Perhitungan banyaknya biaya yang diperlukan untuk bahan dan upah, serta biaya-biaya lain yang berhubungan dengan pelaksanaan bangunan atau proyek tertentu.
2. Merencanakan sesuatu bangunan dalam bentuk dan faedah dalam penggunaannya, beserta besar biaya yang diperlukan susunan - susunan pelaksanaan dalam bidang administrasi maupun pelaksanaan pekerjaan dalam bidang teknik

Ada dua cara yang dapat dilakukan dalam penyusunan anggaran biaya antara lain:

1. Anggaran Biaya Kasar (Taksiran), sebagai pedomannya digunakan harga satuannya tiap meter persegi luas lantai. Namun anggaran biaya kasar dapat juga sebagai pedoman dalam penyusunan RAB yang dihitung secara teliti.

2. Anggaran Biaya Teliti, proyek yang dihitung dengan teliti dan cermat sesuai dengan ketentuan proyek dan syarat-syarat penyusunan anggaran biaya.

2.9.2 Tujuan Rencana Anggaran Biaya

Tujuan dari RAB adalah membuat suatu perkiraan atau rencana yang sesuai dengan dengan volume maupun harga satuan tiap jenis tenaga, bahan dan alat yang akan digunakan. Sehingga kita mengetahui berapa besar rencana harga bagian atau item pekerjaan sebagai pedoman untuk mengeluarkan biaya-biaya dalam masa pelaksanaan. Selain itu supaya konstruksi yang direncanakan dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien.

2.9.3 Fungsi Rencana Anggaran Biaya

RAB ini menjadi dasar dalam merencanakan sebuah proyek sehingga diketahui jenis dan besarnya pekerjaan yang akan dilaksanakan. Berdasarkan RAB tersebut dapat diketahui jenis dan besarnya pekerjaan yang akan dilaksanakan. Dari RAB juga dapat diputuskan peralatan apa saja yang nantinya perlu dibeli langsung atau hanya perlu sistem sewa. Maka RAB dalam sebuah perencanaan sangat diperlukan sebagai pedoman pelaksanaan pekerjaan dan sebagai alat pengontrol pelaksanaan pekerjaan.

2.10 Analisa Harga Satuan Dasar (HSD)

HSD merupakan komponen untuk menyusun harga satuan pekerjaan (HSP) memerlukan HSD tenaga kerja, HSD alat, dan HSD bahan. Setelah memperoleh data dari HSD masing-masing data tersebut masuk dalam rekapitulasi RAB untuk selanjutnya dikalikan dengan volume seperti contoh tabel analisa harga satuan pekerjaan lapis perekat pada **Tabel 2.19**. Berikut ini diberikan langkah-langkah perhitungan HSD komponen HSP menurut HSPK Surabaya (2018).

Tabel 2.19 Contoh analisa harga satuan pekerjaan lapis perekat

No	Uraian	Koef	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A Tenaga					
1	Mandor	0.006	OH	163.000,00	978,00
2	Pembantu Tukang	0.03	OH	115.000,00	3450,00
Total Harga Tenaga					4.428,00
B Bahan					
3	Minyak Tanah	0.4889	Liter	11.900,00	10.478,00
4	Aspal Curah	0.6417	Kg	11.800,00	3.011,00
Total Harga Bahan					13.489,00
C Peralatan					
5	Sewa Dump Truck	0.003	Jam	71.900,00	216,00
6	Sewa Aspal Sprayer	0.003	Jam	30.400,00	91,00
7	Sewa Compressor	0.003	Jam	103.400,00	310,00
Total Harga Peralatan					617,00
Total Harga					18.534,00

(Sumber: Kementerian pekerjaan umum, 2016)

2.10.1 Langkah Perhitungan HSD Tenaga Kerja

Untuk menghitung harga satuan pekerjaan, maka perlu ditetapkan dahulu bahan rujukan harga standar untuk upah sebagai HSD tenaga kerja. Langkah perhitungan HSD tenaga kerja menurut Kementerian Pekerjaan Umum 2016 adalah sebagai berikut:

- 1) Tentukan jenis keterampilan tenaga kerja yang diutuhkan, misal pekerja (P), tukang (Tx), mandor (M), atau kepala tukang (KaT).
- 2) Kumpulkan data upah yang sesuai dengan peraturan daerah (Gubernur, Walikota, Bupati) setempat, data upah hasil survai di lokasi yang berdekatan dan berlaku untuk daerah tempat lokasi pekerjaan akan dilakukan.
- 3) Perhitungkan tenaga kerja yang didatangkan dari luar daerah dengan memperhitungkan biaya makan, menginap dan transport selama masa kontrak.

- 4) Tentukan jumlah hari efektif bekerja selama satu bulan (24 – 26 hari), dan jumlah jam efektif dalam satu hari (7 jam)
- 5) Hitung biaya upah masing-masing pekerja yaitu dihitung per jam per orang.
- 6) Rata-ratakan seluruh dari biaya upah per jam sebagai upah rata-rata per jam.

Contoh penggunaan Harga Satuan Dasar (HSD) tenaga kerja seperti pada **Tabel 2.20**.

Tabel 2.20 Contoh daftar harga satuan dasar (HSD) upah per jam

No	Uraian	Kode	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Keterangan
1	Pekerja	P	Jam	4.657,31	-
2	Tukang	T	Jam	5.963,57	-
3	Mandor	M	Jam	7.281,29	-
4	Operator	O	Jam	4.054,29	-
5	Pembantu Operator	PuO	Jam	3.582,86	-
6	Sopir	S	Jam	6.600,00	-
7	Pembantu Sopir	PuS	Jam	4.337,14	-
8	Mekanik	M	Jam	3.928,57	-
9	Pembantu Mekanik	PuM	Jam	2.857,14	-
10	Kepala Tukang	KaT	Jam	5.000,00	-

(Sumber: Kementerian pekerjaan umum, 2016)

2.10.2 Langkah Perhitungan HSD Alat

Analisis HSD alat memerlukan data upah seperti operator atau supir, spesifikasi alat meliputi tenaga mesin, kapasitas kerja alat (m^3), umur ekonomis alat (dari pabrik pembuatnya), jam kerja dalam satu tahun, dan harga alat. Faktor lainnya adalah komponen investasi alat meliputi suku bunga bank, asuransi alat, faktor alat yang spesifik seperti faktor bucket untuk Excavator, harga perolehan alat, dan Loader. Contoh penggunaan Harga Satuan Dasar (HSD) alat seperti pada **Tabel 2.21** (Kementerian Pekerjaan Umum, 2016).

Tabel 2.21 Contoh daftar harga satuan dasar (HSD) *dump truck* 10 ton

No	Uraian	Kode	Satuan	Koef	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	Uraian Peralatan					
1	Jenis Peralatan		Dump Truck 10 Ton		-	-
2	Tenaga	Pw	HP	190	-	-
3	Kapasitas	Cp	Ton	10	-	-
4	Alat Baru:					
	a. Umur Ekonimis	A	Tahun	5	-	-
	b. Jam Kerja dalam 1 Tahun	W	Jam	2000	-	-
	c. Harga Alat	B	Rp	420000000	-	-
B	Biaya Pasti Per Jam Kerja					
1	Nilai Sisa Alat (10% x B)	C	Rp	42000000	-	-
2	Faktor Angsuran Modal $\left(\frac{i \times (1+i)^A}{(1+i)^A - 1}\right)$	D	-	0.26	-	-
	Biaya Pasti Per Jam					
	a. Biaya Pengembalian Modal	E	Rp	49.857	-	-
3	$\left(\frac{(B-C) \times D}{W}\right)$					
	b. Asuransi $\left(\frac{0,002 \times B}{W}\right)$	F	Rp	420,00	-	-
	Biaya Pasti Per Jam (E + F)	G	Rp	50.377,72	-	-
C	Biaya Operasi Per Jam Kerja					
1	Bahan Bakar (12%-15%) x Pw x Ms	H	Rp	149.302,38	-	-
2	Pelumas (2,5%-3%) x Pw x Mp	I	Rp	85.500,00	-	-
	Biaya Bengkel $\left(\frac{(6,25\% \text{ dan } 8,75\%) \times B}{W}\right)$	J	Rp	18.375	-	-
3	Perawatan $\left(\frac{(12,5\% - 17,5\%) \times B}{W}\right)$	K	Rp	26.250,00	-	-
4	Operator (1 orang/jam) x U1	L	Rp	4.179,29	-	-
5	Pembantu Operator (1 orang/jam) x U2	M	RP	3.707,86	-	-
	Biaya Operasi Per Jam (H+I+J+K+L+M)	P	Rp	287.314,52	-	-
D	Total Biaya Sewa Alat/Jam (G+P)	S	Rp	337.592,52	-	-
E	Lain-lain					
1	Tingkat Suku Bunga	i	% / Th	10	-	-
2	Upah Operator / Supir / Mekanik	U1	Rp/jam	4179.29	-	-
3	Upah Pmb Operator/Pmb Supir/P,b Mekanik	U2	Rp/jam	3707.86	-	-
4	Bahan Bakar Solar	Ms	Lite r	6543.35	-	-
5	Minyak Pelumas	Mp	Lite r	18000	-	-

(Sumber: Kementerian pekerjaan umum, 2016)

2.10.3 Langkah Perhitungan HSD Bahan

Dalam menentukan harga standar bahan atau HSD bahan perlu menetapkan rujukan harga standar bahan atau HSD bahan per satuan pengukuran standar. Analisis HSD bahan memerlukan data harga bahan baku, serta biaya transportasi

dan biaya produksi bahan baku menjadi bahan olahan atau bahan jadi. Produksi bahan memerlukan alat yang mungkin lebih dari satu alat. Setiap alat dihitung kapasitas produksinya dalam satuan pengukuran per jam, dengan cara memasukkan data kapasitas alat, faktor efisiensi alat, faktor lain dan waktu siklus masing-masing. HSD bahan terdiri atas harga bahan baku atau HSD bahan baku, HSD bahan olahan, dan HSD bahan jadi. Perhitungan harga satuan dasar (HSD) bahan yang diambil dari *quarry* dapat menjadi dua macam, yaitu berupa bahan baku (batu kali/gunung, pasir sungai atau gunung dll), dan berupa bahan olahan (misalnya agregat kasar dan halus hasil produksi mesin pemecah batu dan lain sebagainya).

Harga bahan di *quarry* berbeda dengan harga bahan yang dikirim ke *base camp* atau ke tempat pekerjaan, karena perlu biaya tambahan berupa biaya pengangkutan material dari *quarry* ke *base camp*. Contoh penggunaan Harga Satuan Dasar (HSD) alat seperti pada **Tabel 2.22** (Kementrian Pekerjaan Umum, 2016).

Tabel 2.22 Contoh daftar harga satuan dasar (HSD) bahan

No	Uraian	Kode	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
1	Pasir Pasang	Pp	m ³	-	25.750,00	-
2	Pasir Beton	Pb	m ³	-	20.000,00	-
3	Batu Kali	Bk	m ³	-	19.500,00	-
4	Batu Belah	Bb	m ³	-	9.000,00	-
5	Gravel	Grv	m ³	-	8.000,00	-
6	Aspal Cement	Ac	Ton	-	1.100.000,00	-
7	Sirtu	Srt	m ³	-	17.500,00	-
8	Pasir Urug	Pu	m ³	-	18.000,00	-
9	Tanah Timbun	Ttbn	m ³	-	20.300,00	-
10	Material Pilihan	Mpil	m ³	-	20.300,00	-
	Jumlah Harga Pekerjaan	A	Rp			
	PPN (10% x A)	B	Rp			
	Total (A+B)	C	RP			

(Sumber: Kementrian pekerjaan umum, 2016)